ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01384v1

饲喂不同钙、磷水平饲粮对妊娠后期伊犁马营养物质消化代谢和血浆生理生化指标的影响1

方美烟[1] 漆雯雯[1] 唐 伟[2] 李 海[3] 王贤东[1] 于全平[1] 杨 光[1] 陈 勇[1*]

(1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.伊犁哈萨克自治州昭苏马场，昭苏 835500；3.新疆伊犁哈萨克自治州昭苏县畜牧兽医局，昭苏 835600)

摘 要：本试验旨在研究饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期营养物质消化代谢和血浆生理生化指标的影响，为明确伊犁马在妊娠后期对钙、磷的适宜需要量提供参考。试验选取年龄、胎次、体重相近、无亲缘关系、处于妊娠后期的伊犁母马 25 匹，按照体重随机分为 5 组，每组 5 匹。饲粮钙和磷日饲喂量分别为 36.00 和 26.30 g/d(饲粮Ⅰ组)、39.00 和 28.30 g/d(饲粮Ⅱ组)、42.00 和 30.30 g/d(饲粮Ⅲ组)、45.00 和 32.30 g/d(饲粮Ⅳ组)以及 48.00 和 34.30 g/d(第Ⅴ组)。饲养试验为期 30 d，其中预试期 10 d，正试期 20 d。试验期间采集各组饲粮、剩料、粪便和尿液样本用于测定常规营养成分含量，试验结束后采集空腹血样以测定血浆生理生化指标。结果表明：饲粮钙、磷水平对各营养物质的表观消化率均无显著影响($P>0.05$)，对总能、氮、钙、磷的保留率及可消化能、可消化氮、可消化磷的利用率均无显著影响($P>0.05$)，对血浆中离子钙、甲状旁腺素、骨钙素、胎盘催乳素、垂体泌乳素、孕酮、甲状腺素、三碘甲状腺氨酸和胰岛素样生长因子-Ⅰ水平亦无显著影响($P>0.05$)。此外，饲粮钙、磷水平对血浆中肌酐、尿素氮、甘油三酯和游离脂肪酸的水平也无显著影响($P>0.05$)。饲粮Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组可消化钙利用率显著高于饲粮Ⅴ组($P<0.05$)，当饲粮钙、磷水平分别超过 42.00 和 30.30 g/d 时，可消化钙的利用率逐渐下降。饲粮Ⅱ和饲粮Ⅴ组母马血浆中磷水平显著高于饲粮Ⅳ组($P<0.05$)。除饲粮Ⅴ组外，随着饲粮钙、磷水平的增加，血浆中降钙素水平有升高的趋势($P<0.01$)。饲粮Ⅱ和饲粮Ⅳ组血浆中雌二醇水平显著低于饲粮Ⅰ组($P<0.05$)，饲粮Ⅲ组则显著低于饲粮Ⅰ和饲粮Ⅴ组($P<0.05$)。血浆中雌酮水平的变化规律与雌二醇一致。此外，提高饲粮钙、磷水平可增加血浆中生长激素的水平，除饲粮Ⅲ组外，其他各组血浆中生长激素水平均显著高于饲粮Ⅰ组($P<0.05$)。由此可见，当饲粮钙水平在 36.00~48.00 g/d、磷水平在 26.30~34.30 g/d 之间时，增加饲粮钙、磷水平不影响妊娠后期伊犁马营养物质的消化代谢，但血浆中雌二醇和雌酮水平降低，而生长激素水平增加。

收稿日期：2016-03-14

基金项目：国家科技支撑计划课题(2012BAD45B02)

作者简介：方美烟(1992-)，女，福建莆田人，硕士研究生，从事草食动物营养与饲料的研究与开发。E-mail：1115815312@qq.com

*通信作者：陈 勇，教授，博士生导师，E-mail： xjaucy@163.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01384v1

关键词：伊犁马；妊娠后期；钙；磷；消化；代谢；激素

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　　文章编号：

马妊娠期约为 330 d，妊娠后期(最后 2 个月)母马对营养物质需要量急剧增加，既是用于满足胎儿发育的需要，也是为泌乳做好准备。钙(calcium,Ca)和磷(phosphorus,P)是动物需要量较大的 2 种常量矿物元素。研究发现，牛胎儿对钙的需要量在妊娠的头 3 个月可以忽略不计，此后胎儿骨骼开始钙化，对钙的需要量增加。而胎儿骨骼钙化主要发生在分娩前的最后几周[1]。当饲粮钙不足时，易引发母畜产后瘫痪等营养代谢性疾病，而钙过量不仅降低干物质采食量和生产性能，而且还干扰其他微量元素的吸收并降低能量和蛋白质的利用率[1]。对奶牛而言，妊娠期对磷的需要量在最后 3 个月开始升高，而在妊娠 190 d 以前，胎儿对磷的需要量几乎为零[1]。NRC(2007)[2]对体重为 400 kg 的母马妊娠期前 5 个月磷的推荐量较低，与成年非劳作以及非繁殖的种公马的磷推荐量相同。因此，适宜的饲粮钙、磷水平不仅有助于维持母马的繁殖性能，更有助于保证胎儿的生长发育。

伊犁马是我国著名的培育品种之一，近年来正在由传统放牧向现代马产业发展。但与此不相称的是伊犁马营养需要的研究几乎处于空白，饲养管理方式也较粗放。虽然 NRC(2007)[2]为伊犁马的标准化饲养提供了重要的参考，但是由于各国马品种、生产目的、生产水平、饲养方式以及气候条件的不同，马的营养需要也存在显著差异。因此，开展伊犁马营养需要量的研究对于饲养标准的制订有极其深远的意义。本试验旨在研究饲喂不同钙、磷水平饲粮对妊娠后期伊犁马血液生理生化指标和营养物质消化代谢的影响，为探讨伊犁马在妊娠后期对钙和磷的适宜需要量提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物与饲粮

本试验选取无亲缘关系、年龄 12~13 周岁、体重为（380±32） kg、胎次为 4~5 胎、处于妊娠第 10 月龄左右的伊犁马 25 匹，根据体重随机分为 5 组，每组 5 匹。参照 NRC(2007)[2]标准，按照成熟体重为 400 kg 泌乳马的需求设计 5 种不同钙、磷水平的试验饲粮。饲粮钙和磷日饲喂量分别为：36.00 和 26.30 g/d(饲粮Ⅰ组)、39.00 和 28.30 g/d(饲粮Ⅱ组)、42.00 和 30.30 g/d(饲粮Ⅲ组)、45.00 和 32.30 g/d(饲粮Ⅳ组)以及 48.00 和 34.30 g/d(饲粮Ⅴ组)。试验饲粮组成及营养供给水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成和营养供给水平(饲喂基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (as-fed

ChinaXiv合作期刊

basis) %

项目 Items	饲粮 Diets				
	I	II	III	IV	V
原料 Ingredients					
草原干草 Pasture hay	46.26	46.22	46.17	46.13	46.09
小麦秸秆 Wheat straw	30.84	30.81	30.78	30.75	30.73
玉米 Corn	11.57	11.56	11.55	11.53	11.52
大麦 Barley	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94
麸皮 Wheat bran	3.08	3.08	3.08	3.08	3.07
豆粕 Soybean meal	5.28	5.28	5.27	5.27	5.26
磷酸氢钙 $CaHPO_4$		0.08	0.17	0.26	0.34
石粉 Limestone	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
食盐 NaCl	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
预混料 Premix[1)]	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
大豆油 Soybean oil	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
消化能 DE/(MJ/d)	102.13	102.13	102.13	102.13	102.13
粗蛋白质 CP/(kg/d)	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
钙 Ca/(g/d)	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00
磷 P/(g/d)	26.30	28.30	30.30	32.30	34.30
赖氨酸 Lys/(g/d)	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50

[1)]每千克预混料含有Contained the following per kg premix:Co (as cobalt chloride) 13 mg，Cu (as copper sulfate) 3 300 mg，I (as potassium iodide) 100 mg，Mn (as manganese sulfate) 10 g，Se (as sodium selenite) 27 mg， Zn (as zinc sulfate) 10 g， Fe (as ferrous sulfate) 13 g， VA 800 000 IU， VD 88 000 IU，VE 21 000 IU，VB_1 800 mg，VB_2 530 mg。

[2)]营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2 饲养管理

试验在伊犁哈萨克自治州昭苏马场进行。试验前对地面、墙壁、架栏及食槽等进行彻底清扫消毒。试验期间按照马场常规程序进行消毒、驱虫和免疫。将草原干草和小麦秸秆按照 6:4 的比例采用全混合日粮（TMR）混合机混合 30 min 以制备试验饲粮粗饲料。试验马匹采用单栏饲喂，按照定时定量、少喂勤添、先粗后精的原则饲喂，自由饮水。粗饲料每天分 4 次饲喂，即 02:00、09:30、13:30 和 18:00 分别饲喂 5.00、2.00、1.50 和 1.50 kg；精料补充料每天饲喂 2 次，即 11:30 和 20:00 各饲喂 1.50 kg 左右。采食结束后马匹在运动场自由运动，以防止母马长时间站立影响消化和妊娠。试验预试期 10 d，正试期 20 d。在正试期记录每匹

chinaXiv:201711.01384v1

马每天的采食量和剩余饲料量。

1.3 样品的采集

从正试期第 10 天开始进入消化代谢试验。消化代谢试验采用全收粪法记录每天的排粪量。采用专门的孕马尿收集装置收集每天的排尿量。为防止母马长时间站立而引发流产，每个采样周期为连续采样 2 d 后停止 2 d，共 3 个采样周期。将同一采样周期每匹马当日的粪便和尿液分别混匀后，粪便采集 200 g/d，尿液经 2 层纱布过滤后采集 80 g/d。粪便样本经处理后自然阴干，尿液样本置于-20 ℃冰箱冷冻保存。同一匹马 3 个采样周期所取样本等量混合为 1 个样品用于常规营养成分的分析。

血样的采集与处理：在第 3 个采样周期结束后次日晨饲前将马匹固定，从颈静脉采血 10 mL，血样经肝素钠抗凝后 3 500 r/min 离心 10 min 分离血浆并置于-20 ℃冰箱保存备用。

饲料样本的采集：消化代谢试验期间，每组采集粗饲料样本 500 g、剩料样本 600 g，剪短后密封常温保存备用。每组精料补充料采集 200 g，密封常温保存备用。

1.4 测定指标

饲粮、粪便和尿液中的干物质（dry matter,DM）、有机物（organic matter,OM）、粗灰分、磷含量参考彭健[3]的方法测定；钙含量采用邻甲酚肽比色法测定[4]；能量采用 OR2014 型量热仪测定；粗蛋白质(crude protein,CP)含量采用 Rapid N III氮分析仪测定[5]；中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber,NDF)含量采用 ANKOM A2000i 型纤维测定仪测定。

血浆中离子钙水平采用甲基香酚蓝比色法测定；磷水平采用钼蓝比色法测定；肌酐(creatinine,CER)水平采用苦味酸比色法测定；尿素氮(urea nitrogen,UN)水平采用二乙酰肟比色法测定；甘油三酯(triglyceride,TG)水平采用甘油磷酸氧化酶-过氧化物酶法测定；游离脂肪酸(free fatty acids,FFA)水平采用铜试剂法测定。血浆中钙离子代谢相关激素[甲状旁腺素(parathyroid hormone,PTH)、降钙素(calcitonin,CT)和骨钙素(bone gla protein,BGP)]、生殖激素[胎盘生乳素(placental lactogen,PL)、垂体催乳素(prolactin,PRL)、雌酮(estrone,E_1)、雌二醇(estradiol,E_2)和孕酮(progesterone,PROG)]以及生长发育相关激素[甲状腺素(thyroxine,T_4)、三碘甲状腺原氨酸(triiodothyronine,T_3)、生长激素(growth hormone,GH)和胰岛素样生长因子-Ⅰ(insulin like growth factor-Ⅰ,IGF-Ⅰ)]水平均采用放射免疫法测定。上述指标测定所用试剂盒均由北京华英生物技术研究所提供。

1.5 数据统计分析

数据采用 SPSS 18.0 软件中的单因素方差分析(one-way ANOVA)模块进行，分析模型为 $X_{ij}=\mu+\alpha_i++\varepsilon_{ij}$，其中 X_{ij} 为观察值，μ 为总体均值，α_i(i=1,2,3,4,5)为饲粮效应，ε_{ij} 为误差。当因

chinaXiv:201711.01384v1

chinaXiv:201711.01384v1

素水平达到显著后采用 Duncan 氏法对组间数据进行多重比较。数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示，显著水平为 $P\leq0.05$，有差异趋势为 $0.05<P\leq0.10$。

2 结果与分析

2.1 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期营养物质表观消化率的影响

从表 2 可以看出，伊犁马在妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮对 DM、OM、CP、NDF、钙和磷的表观消化率均无显著影响($P>0.05$)，但饲粮II组各营养物质的表观消化率较其他各组有一定程度降低。

表 2 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期营养物质表观消化率的影响

Table 2 Effects of feeding different levels of Ca and P diets on nutrient apparent digestibility of *Yili* mares during late pregnancy %

项目 Items	饲粮 Diets					*P* 值
	I	II	III	IV	V	*P*-value
干物质 DM	48.96±7.84	43.43±4.34	48.82±2.15	48.89±11.91	47.29±12.10	0.823
有机物 OM	50.07±7.76	45.29±4.12	50.55±2.00	50.78±11.63	49.45±12.17	0.841
粗蛋白质 CP	58.76±6.85	48.54±3.36	53.29±4.73	56.06±10.04	56.49±8.65	0.241
中性洗涤纤维 NDF	32.95±11.39	24.76±5.57	33.40±2.38	32.63±17.72	31.86±18.66	0.808
钙 Ca	43.02±12.30	36.77±14.22	48.24±6.73	47.05±12.79	40.97±8.88	0.513
磷 P	26.27±8.02	23.47±8.32	25.09±9.00	24.71±14.36	28.34±9.29	0.953
总能 GE	46.34±8.13	41.10±4.56	47.17±2.50	46.12±12.67	45.86±13.20	0.848

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期能量、氮、钙和磷代谢的影响

从表 3 可以看出，伊犁马妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮后对总能、氮、钙、磷的保留率均无显著影响($P>0.05$)，同时对可消化能、可消化氮、可消化磷的利用率亦无显著影响($P>0.05$)。饲粮Ⅰ、Ⅱ和III组可消化钙利用率显著高于饲粮Ⅴ组($P<0.05$)；当饲粮钙、磷水

chinaXiv:201711.01384v1

平饲粮分别超过 42.00 和 30.30 g/d 时，后，进一步增加饲粮钙、磷水平后可消化钙的利用率逐渐下降。

表 3　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期能量、氮、钙和磷代谢的影响

Table 3　Effects of feeding different levels of Ca and P diets on metabolism of energy, N, Ca and P of *Yili* mares during late pregnancy　　%

项目 Items	饲粮 Diets					*P* 值
	I	II	III	IV	V	*P*-value
总能保留率 Retention rate of GE	43.17±7.74	36.31±7.65	44.02±3.11	42.66±13.68	41.86±12.52	0.738
可消化能利用率 Availability of DE	93.13±1.51	87.67±10.98	93.28±1.77	91.51±4.97	91.04±1.55	0.517
氮保留率 Retention rate of N	45.48±4.48	35.76±4.98	39.51±5.92	44.73±10.06	42.05±7.19	0.189
可消化氮利用率 Availability of digestible N	77.62±4.16	73.42±5.46	73.91±6.72	79.31±4.37	74.32±2.99	0.269
钙保留率 Retention rate of Ca	35.98±11.45	28.97±11.91	39.34±5.39	36.07±13.84	27.38±9.49	0.374
可消化钙利用率 Availability of digestible Ca	82.89±3.92^{a}	78.36±6.08^{a}	81.60±2.66^{a}	75.04±13.75^{ab}	65.22±11.25^{b}	0.030
磷保留率 Retention rate of P	26.27±8.02	23.46±8.32	25.09±9.00	24.71±14.36	28.33±9.29	0.953
可消化磷利用率 Availability of digestible P	98.98±0.11	98.70±1.01	99.15±0.53	98.93±0.55	98.87±0.53	0.839

2.3　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中离子钙、磷及钙离子代谢相关激素水平的影响

从表 4 可以看出，在妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马血浆中离子钙、PTH 和 BGP 水平均无显著影响(P>0.05)。饲粮II和饲粮 V 组母马血浆中磷水平显著高于饲粮IV组(P<0.05)。除饲粮 V 组外，随着饲粮钙、磷水平的增加，血浆中 CT 水平有升高的趋势(P<0.10)。

表 4　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中钙离子、磷及钙离子代谢相关激素水平的影响

Table 4　Effects of feeding different levels of Ca and P diets on plasma levels of Ca, P and Ca^{2+} metabolism related hormones of *Yili* mares during late pregnancy

项目 Items	饲粮 Diets	*P* 值

ChinaXiv合作期刊

	I	II	III	IV	V	*P*-value
钙 Ca^{2+}/(mmol/L)	1.08±0.40	0.98±0.33	1.20±0.31	1.02 ±0.31	0.88±0.18	0.595
磷 P/(mmol/L)	0.78±0.17[ab]	1.08 ±0.14[a]	0.83±0.37[ab]	0.62±0.08[b]	0.97±0.20[a]	0.029
甲状旁腺素 PTH/(ng/L)	42.98±29.88	52.03±16.36	62.03±18.25	40.05±17.00	58.68±17.90	0.389
降钙素 CT/(ng/L)	115.70±32.00	123.18±18.42	117.04±6.12	132.55±13.79	88.12±29.23	0.053
骨钙素 BGP/(μg/L)	4.90±0.43	4.75 ±0.55	5.08±0.47	4.74±0.49	5.23±0.35	0.407

2.4 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生殖激素水平的影响

从表 5 可以看出，在妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马血浆中 PL、PRL 和 PROG 水平均无显著影响(P>0.05)。随着饲粮钙、磷水平的增加，血浆中 E_2 水平逐渐下降，并在饲粮III组降到最低值，之后又随着饲粮钙、磷水平的增加逐渐升高。饲粮II和饲粮IV组血浆中 E_2 水平显著低于饲粮I组(P<0.05)，饲粮III组则显著低于饲粮I和饲粮V组(P<0.05)。血浆中 E_1 水平的变化规律与 E_2 一致，即饲粮III组的水平最低，并显著低于饲粮I和饲粮V组(P<0.05)。

表 5　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生殖激素水平的影响

Table 5　Effects of feeding different levels of Ca and P diets on plasma levels of reproductive hormones of *Yili* mares during late pregnancy

项目 Items	饲粮 Diets					*P* 值 *P*-value
	I	II	III	IV	V	
胎盘催乳素 PL/(mg/L)	1.26±0.20	1.22±0.19	1.32±0.16	1.21±0.22	1.29±0.07	0.848
垂体泌乳素 PRL/(mIU/L)	165.12±26.98	174.55±12.85	164.79±35.97	185.93±46.19	149.62±18.80	0.449
雌二醇 E_2/(ng/L)	434.10±121.10[a]	263.82±107.40[bc]	197.74±144.05[c]	254.93±115.17[bc]	366.56±82.32[ab]	0.029
孕酮 PROG/(μg/L)	0.77±0.17	0.63±0.22	0.81±0.30	0.76±0.17	0.62±0.20	0.545
雌酮 E_1/(pmol/L)	911.21±137.16[a]	666.13±200.03[ab]	522.93±300.28[b]	648.01±221.74[ab]	858.15±139.86[a]	0.046

2.5 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生长发育相关激素水平的影响

从表 6 可以看出，在妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马血浆中 T_4、T_3 和 IGF-I 水平均无显著影响(P>0.05)。提高饲粮钙、磷水平可增加血浆中 GH 的水平，除饲粮III组外，其他各组血浆中 GH 水平均显著高于饲粮I组(P<0.05)。

chinaXiv:201711.01384v1

ChinaXiv合作期刊

表 6　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生长发育相关激素水平的影响

Table 6　Effects of feeding different levels of Ca and P diets on plasma levels of growth and development related hormones of *Yili* mares during late pregnancy　μg/L

项目 Items	饲粮 Diets					*P* 值
	I	II	III	IV	V	*P*-value
甲状腺素 T_4	18.42±7.14	15.54±3.80	14.76±4.41	15.53±5.81	18.45±2.70	0.657
三碘甲状腺氨酸 T_3	0.57±0.20	0.59±0.30	0.77±0.23	0.86±0.11	0.70±0.21	0.220
生长激素 GH	2.09±1.03[c]	3.40±0.33[a]	2.25±0.39[bc]	3.60±0.62[a]	3.26±1.21[ab]	0.018
胰岛素样生长因子-Ⅰ IGF-Ⅰ	184.75±6.60	216.89±27.56	199.41±16.71	230.99±14.08	199.70±54.39	0.153

2.6　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中脂代谢、氮代谢相关指标的影响

从表 7 可以看出，在妊娠后期饲喂不同钙、磷水平饲粮对血浆中 CREA、UN、TG 和 FFA 水平均无显著影响(P>0.05)。

表 7　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中脂代谢、氮代谢相关指标的影响

Table 7　Effects of feeding different levels of Ca and P diets on plasma indices of lipid and nitrogen metabolism of *Yili* mares during late pregnancy

项目 Items	饲粮 Diets					*P* 值
	1	2	3	4	5	*P*-value
肌酐 CREA/(μmol/L)	82.50±5.35	71.47±9.49	72.64±5.31	72.11±10.03	69.13±9.78	0.142
尿素氮 UN/（mmol/L）	4.52±0.84	4.55±0.66	4.50±0.21	4.13±0.34	4.31±0.33	0.701
甘油三酯 TG/（mmol/L）	0.14±0.06	0.22±0.08	0.21±0.07	0.22±0.03	0.24±0.05	0.101
游离脂肪酸 FFA/（mmol/L）	0.43±0.06	0.44±0.06	0.40±0.07	0.44±0.05	0.39±0.03	0.552

3　讨　论

3.1　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期营养物质消化代谢的影响

研究发现，当奶牛钙摄入不足时除引起相应营养代谢疾病外，还可导致乳脂率下降、饲料利用率降低等[6]。反之，饲粮含钙量大于 1%时也会降低动物的 DM 采食量和生产性能[1]。磷对消化的影响主要源于微生物消化纤维及合成微生物蛋白质对磷的需要。要使奶牛瘤胃微生物充分降解饲料原料，瘤胃内每千克可消化 OM 的可利用磷含量不应少于 5 g[1]。这表明，饲粮钙、磷对动物营养物质的消化代谢具有一定的影响。但是，由于马的微生物消化处于后肠，消化能力明显低于瘤胃微生物。这可能是本研究中虽然增加了饲粮钙、磷水平但营养物

chinaXiv:201711.01384v1

ChinaXiv合作期刊

质表观消化率并无显著差异的原因之一。

饲粮钙、磷在消化和吸收上相互影响。当给生长马供应充足的磷时，即使饲粮钙磷比为 6:1 也不会对马的生长产生负面影响。但是，当饲粮钙磷比低于 1:1，即使钙充足，高比例的磷也会妨碍马骨骼的发育[2]。研究发现，当饲粮磷水平保持不变，给成年矮马分别饲喂 148(低水平)、316(中等水平)或 535 mg/（kg BW • d）钙(高水平)后，中等水平和高水平钙组的磷表观消化率、保留率和钙的表观消化率均降低[7]。在本研究中，饲粮钙水平从 36.00 g/d 增加到 48.00 g/d，磷水平从 26.30 g/d 增加到 34.30 g/d，钙磷比变化不大，从 1.10:1.00 增加到 1.40:1.00。NRC(2007)[2]对体重为 400 kg、处于妊娠后期的母马饲粮推荐的钙磷比为 1.37:1.00。由此可见，本研究中饲粮钙、磷水平及其比例均处于较为适宜的范围，因此对钙、磷代谢的影响并不明显。

3.2 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中钙、磷及钙离子代谢相关激素水平的影响

血液中钙、磷来源于饲粮、骨骼溶解和肾脏的重吸收。成年矮马饲喂高水平磷饲粮后，血液中磷水平显著提高[8]。这表明饲粮磷是影响血液磷水平的重要因素。在本研究中，除饲粮IV组外，随着饲粮钙、磷水平的增加，血浆磷水平显著升高，而钙水平却无显著变化。这可能与血液中钙、磷调节机制不同有关。PTH、CT 和维生素 D_3 共同作用以维持细胞外液钙水平的恒定。甲状旁腺对颈动脉的血液中钙水平非常敏感，当血液中钙水平下降时 PTH 可增强肾脏对钙的重吸收。CT 可以缓和 PTH 的升钙作用，表现出相互消长的现象。这说明在钙代谢调节中两者存在着极显著的拮抗作用，维持着机体钙的正常代谢活动。血浆磷水平也受 PTH 和 CT 的双向调节，但体液对机体的调节并不像神经调节那样敏感，能立即对血浆磷水平产生较大的影响[9]。

BGP 的唯一来源是骨组织，血液中 BGP 水平的高低反映了骨的生理状态，血液中 BGP 水平的降低说明骨转化减弱[10]。当动物机体缺乏钙、磷时，机体开始动员骨中的钙、磷，此时血液中 BGP 的水平由于受到骨转化作用活跃的影响而增大。本试验结果表明，随着饲粮钙、磷水平的不断提高，血浆中 BGP 水平无显著变化，说明在本试验条件下，提高饲粮钙、磷水平并不增强骨转化。

3.3 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生殖激素水平的影响

当饲粮中钙、磷不足或比例不当时会引起奶牛繁殖能力减弱、流产等现象。钙缺乏主要导致产后瘫痪以及难产、子宫脱垂和胎衣不下等症状，进而对繁殖性能产生负面影响[11]。李善[illegible]等[12]发现，大鼠妊娠期摄入低钙饮食显著降低出产率，但其机制尚不清楚。对钙、

chinaXiv:201711.01384v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01384v1

磷缺乏的奶牛分别补饲钙、磷或其组合可显著缩短产犊到发情的间隔，并减少受孕前的配种次数[11]。低钙血症可损伤动物的繁殖性能，其机制包括子宫收缩力差、影响能量平衡、减少下丘脑和卵巢血流量、在细胞水平上干扰正常的内分泌信号传导[13]。因此，当动物饲粮钙不足时，补充钙可提高动物的繁殖性能。

大鼠磷缺乏可引起卵巢活性以及受胎率下降[14]。奶牛长期磷供给不足时，其采食量下降，而且能量和蛋白质等营养物质也缺乏。一般认为，体重过低是导致磷缺乏奶牛繁殖性能降低的重要原因[1]。补充磷可改善动物的繁殖性能，但没有证据表明给奶牛饲喂超过需要量的饲粮磷可以进一步提高其繁殖性能。

饲粮钙、磷水平对母畜生殖激素影响的报道较鲜见。青年奶牛饲粮磷水平为 0.73%、1.38%或 2.46%时，血清中黄体酮和促黄体生成素的水平均无显著差异[1]。低钙血症可引起奶牛血液中 PROG 水平下降[13]。在本研究中，饲粮钙、磷水平的变化并未引起血浆 PROG 水平的显著改变，说明在本研究中即使是最低的钙、磷水平仍可满足其营养需要；同时，本研究发现血浆中 E_1 和 E_2 水平在各组间有波动。蛋鸡在饲喂高钙高磷饲粮时，血清 E_2 水平显著高于低钙低磷组[15]。但是也有研究发现，即使额外补充 3%的钙，蛋鸡血液中 E_2 的浓水平也未发生显著的变化；在相同补饲水平下，来航鸡血液中 E_2 水平明显高于康沃尔鸡[16]。上述结果表明 E_2 对饲粮钙的响应与动物品种有密切关系。

高血钙促进卵黄原蛋白在肝脏中的形成，从而影响雌激素的分泌[16]。另外，饲粮钙加速 E_1 的代谢，尿中 E_1 代谢物如 2-甲氧基雌酮和 16α-羟雌酮的水平与饲粮钙水平呈正相关[17]。这可能是引起本研究中提高饲粮钙水平而引起血浆中 E_1 水平下降的原因之一。

3.4　饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中生长发育相关激素水平的影响

甲状腺激素可促进组织细胞内蛋白质、RNA、DNA、特殊酶系的合成，促进钙、磷代谢和骨骼的生长，切除甲状腺会导致低血钙症[18]。甲状腺激素通过动员细胞内的钙离子移动增加细胞外的钙离子水平[19]。反之，高水平的饲粮钙离子也影响甲状腺的形态与功能。长时间饲喂高钙饲粮的大鼠其甲状腺增生肥大、血液中 T_4 水平增加而 T_3 水平下降[20]。另外，饮食中钙水平过低容易导致女性甲状腺紊乱，进而增加骨折和肾结石的危险。以上研究表明饲粮钙水平与甲状腺激素间存在密切的关系。饲粮钙、磷水平对妊娠后期母马甲状腺激素水平的影响还未见报道。在本研究中增加饲粮钙、磷水平并不影响血浆中 T_4 水平，但 T_3 水平有轻微的增加，可能是由于逐渐增加的饲粮钙离子反向调节甲状腺激素分泌的结果。

在本研究中，随着饲粮钙、磷水平的增加，妊娠后期伊犁马血浆中 GH 水平增加，表明饲粮钙、磷具有促进 GH 分泌的作用。研究发现，给家禽饲喂钙离子螯合剂、钙通道阻断剂

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01384v1

或抑制调钙素均急剧抑制血浆 GH 的分泌[21]。Sommerville 等[22]也报道，肉仔鸡饲粮中钙缺乏时可降低血液中 GH 的水平并影响生长。大鼠在饲喂高脂肪饲粮时，饲粮高水平钙会降低血液中胰岛素的水平，但无论是饲粮高水平钙还是低水平钙对血液中 GH 水平均无显著影响[23]。由此可见，饲粮钙对动物 GH 的调节与饲粮类型有密切关系。有关饲粮磷对动物 GH 的影响还未见报道。Zhang 等[24]报道，在快速生长期，IGF-Ⅰ可促进骨骼钙离子的积累。在本研究中血浆中 IGF-Ⅰ水平的变化规律与 GH 一致，随着饲粮钙水平的增加有一定增加，但在各组间并无显著差异，这可能与试验动物数量偏少有关。在试验条件允许的情况下，有必要进一步研究饲粮钙、磷水平与母马生长轴间的关系。

3.5 饲喂不同钙、磷水平饲粮对伊犁马妊娠后期血浆中脂代谢、氮代谢相关指标的影响

研究发现，当人每天补充 1 250 mg 钙 8 周后，血液中总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和载脂蛋白 B 水平显著降低[25]。学龄前儿童每日摄入的钙量越高，体脂含量越低[26]。由此可见，饲粮钙对机体蛋白质和脂类代谢具有一定的调节作用。饲粮高水平的钙离子通过降低细胞内脂肪酸合成酶的表达和活性增加脂解并减少 TG 的累积[27]。这可能是导致本研究中随着饲粮钙、磷水平增加，血浆中 TG 水平有增加趋势的原因。

血液中 UN 和 CREA 水平可作为衡量蛋白质营养状况和肌肉发育的指标。动物机体对蛋白质消化代谢的主要终末产物是尿素。CREA 是机体肌肉代谢的产物，血液中的 CREA 来源于动物对肉类食物消化代谢的产物和动物自身肌肉组织代谢的产物。本研究中，随着饲粮钙、磷水平的增加，血浆中 CREA 水平有一定下降，说明肌肉组织分解代谢有降低的趋势。

4 结 论

当饲粮钙水平在 36.00~48 g/d、磷水平在 26.30~34.30 g/d 之间时，增加饲粮钙、磷水平不影响妊娠后期伊犁马营养物质的消化代谢，但血浆中 E_1 和 E_2 水平降低，而 GH 水平增加。

致谢

感谢新疆伊犁哈萨克自治州昭苏马场和新疆伊犁哈萨克自治州昭苏县畜牧兽医局在试验中给予的大力支持。

参考文献：

[1] 国家科学研究委员会.奶牛营养需要[M].7 版.孟庆祥，译.北京:中国农业大学出版社,2002.

[2] NRC.Nutrient requirements of horses[S].6th rev ed.Washington,D.C.:National Academies

ChinaXiv合作期刊

Press,2007:1–300.

[3] 彭健.饲料分析与检测技术[M].北京:科学出版社,2008.

[4] 傅启高,雒秋江.用邻-甲酚酞比色法测定饲料中钙含量的研究[J].动物营养学报,1996,8(3):25–30.

[5] 郭望山,孟庆翔.杜马斯燃烧法与凯氏法测定饲料含氮量的比较研究[J].畜牧兽医学报,2006,37(5):464–468.

[6] 初汉平.不同泌乳阶段对荷斯坦牛干物质采食量和钙磷消化率的影响[J].饲料工业,2011,32(5):39–41.

[7] VAN DOORN D A,VAN DER SPEK M E,EVERTS H,et al.The influence of calcium intake on phosphorus digestibility in mature ponies[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2004,88(11/12):412–418.

[8] VAN DOORN D A,EVERTS H,WOUTERSE H,et al.Influence of high phosphorus intake on salivary and plasma concentrations,and urinary phosphorus excretion in mature ponies[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2011,95(2):154–160.

[9] 王宗元,曹光辛,胡在朝,等.动物矿物质营养代谢与疾病[M].上海:上海科学技术出版社,1995:8–52.

[10] 魏炳栋,张力,周学辉,等.不同季节牧草钙磷含量对放牧绵羊血清骨钙素的影响[J].甘肃农业大学学报,2005,40(4):452–456.

[11] PHIRI E C J H,NKYA R,PEREKA A E,et al.The effects of calcium,phosphorus and zinc supplementation on reproductive performance of crossbred dairy cows in Tanzania[J].Tropical Animal Health and Production,2007,39(5):317–323.

[12] 李善[illegible],葛立宏,高翠林,等.妊娠期低钙饮食摄入对大鼠出产率的影响[J].实验动物科学与管理,2000,17(4):15–18.

[13] JONSSON N N.The effects of subclinical hypocalcaemia on postpartum fertility[J].Cattle Practice,1999,7(3):255–260.

[14] CALL J W,BUTCHER J E,SHUPE J L,et al.Dietary phosphorus for beef cows[J].American Journal of Veterinary Research,1986,47(2):475–481.

[15] 章世元,俞路,王雅倩,等.饲粮钙磷水平对新扬州鸡生产性能、蛋壳质量及骨代谢的影响[J].江苏农业学报,2008,24(4):460–466.

[16] PREDA C,BUDICA C,DOJANA N.Effect of various levels of dietary calcium on blood

chinaXiv:201711.01384v1

ChinaXiv合作期刊

calcium concentration and hormonal status in white Cornish and white Leghorn hens[J].Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca,2014,71(1):182–186.

[17] NAPOLI N,THOMPSON J,CIVITELLI R,et al.Effects of dietary calcium compared with calcium supplements on estrogen metabolism and bone mineral density[J].American Journal of Clinical Nutrition,2007,85(5):1428–1433.

[18] 吴卓宇,冯艳玉,刘春庆.甲状腺切除患者甲状旁腺功能减退影响因素及低钙血症的防治[J].现代医学,2016(1):37–41.

[19] AMADI K,SABO M A,ADELAIYE A B,et al.Dependence of calcium on thyroid hormone for the regulation of cellular functions[J].Nigerian Journal of Physiological Sciences: Official Publication of the Physiological Society of Nigeria,2005,20(1/2):95–100.

[20] CHANDRA A K,GOSWAMI H,SENGUPTA P.Dietary calcium induced cytological and biochemical changes in thyroid[J].Environmental Toxicology and Pharmacology,2012,34(2):454–465.

[21] HARVEY S,HUYBRECHTS L M,SCANES C G.Growth hormone secretion in chicks during dietary calcium deficiency[J].Domestic Animal Endocrinology,1984,1(4):269–277.

[22] SOMMERVILLE B A,HARVEY S.The effect of low levels of dietary protein and calcium on growth rate,growth hormone,and vitamin D metabolism in the chick[J].General and Comparative Endocrinology,1988,71(1):93–96.

[23] 孙长颢,于新凤,李颖,等.膳食钙对高脂膳食大鼠血糖、血脂及激素的影响[J].卫生研究,2004,33(2):164–166.

[24] ZHANG Q M,WASTNEY M E,ROSEN C J,et al.Insulin-like growth factor-1 increases bone calcium accumulation only during rapid growth in female rats[J].Journal of Nutrition,2011,141(11):2010–2016.

[25]SHIDFAR F,MOGHAYEDI M,KERMAN S R J,et al.Effects of a calcium supplement on serum lipoproteins,apolipoprotein B,and blood pressure in overweight men[J].International Journal of Endocrinology and Metabolism,2010,8(4):194–200.

[26] CARRUTH B R,SKINNER J D.The role of dietary calcium and other nutrients in moderating body fat in preschool children[J].International Journal of Obesity,2001,25(4):559–566.

chinaXiv:201711.01384v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01384v1

[27] ZEMEL M B.Proposed role of calcium and dairy food components in weight management and metabolic health[J].The Physician and Sportsmedicine,2009,37(2):29–39.

Effects of Feeding Different Levels of Calcium and Phosphorus Diets on Nutrient Digestion and Metabolism, Plasma Physiological-Biochemical Indices of *Yili* Mares During Late Pregnancy[2]

FANG Meiyan[1] QI Wenwen[1] TANG Wei[2] LI Hai[3] WANG Xiandong[1] YU Quanping[1] YANG Guang[1] CHEN Yong[1]*

(1. *College of Animal Sciences*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *Yili Kazak Autonomous Prefecture of Zhaosu Racecourse*, *Zhaosu* 835500, *China*; 3. *Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Zhaosu County*, *Yili Kazak Autonomous*, *Zhaosu* 835600, *China*)

Abstract: The aim of this experiment was to investigate the effects of feeding different levels of calcium (Ca) and phosphorus (P) diets on nutrient digestion and metabolism, plasma physiological-biochemical indices of *Yili* mares during late pregnancy, and to provide references for exploring the requirement of Ca and P of *Yili* mares during late pregnancy. Twenty-five unrelated *Yili* mares during late pregnancy with similar age, body weight (BW) and parity were selected, and randomly divided into five groups according to the BW, and each group had 5 mares. The daily feeding amounts of Ca and P of five groups were 36.00 and 26.30 g/d (diet I group), 39.00 and 28.30 g/d (diet II group), 42.00 and 30.30 g/d (diet III group), 4.50 and 32.30 g/d (diet IV group), and 48.00 and 34.30 g/d (diet V group), respectively. The feeding trial period lasted 30 days, and 10 days for preliminary trial and 20 days for formal trial. Samples of diets, feces, and urine were collected during the experimental period for measuring the contents of nutrients, and the fasting blood samples were collected at the end of the trial to determine the contents of plasma physiological-biochemical indices. The results showed that dietary Ca and P levels had no significant effect on the apparent digestibility of nutrients (P>0.05), and had no significant effects on the retention rates of gross energy, nitrogen, Ca and P and the availabilities of digestible energy, digestible nitrogen and digestible P (P>0.05). Meanwhile, the levels of plasma Ca^{2+}, parathyroid hormone (PTH), calcitonin (CT), placental lactogen (PL), pituitary prolactin (PRL), progesterone

---

*Corresponding author, professor, E-mail:xjaucy@163.com (责任编辑　菅景颖)

(PROG), thyroxine (T_4), triiodothyronine thyroxin (T_3) and insulin like growth factor-Ⅰ(IGF-Ⅰ) showed no significant difference within the five groups (P>0.05). In addition, there were no significant effects of dietary Ca and P levels on the levels of plasma creatinine (CREA), urea nitrogen (UN), triglyceride (TG) and free fatty acid (FFA) (P>0.05). The availability of digestible Ca of the diet Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ groups was significantly higher than that of diet Ⅴ group (P<0.05), and the availability of digestible Ca was decreased when dietary Ca and P levels exceeded 42.00 and 30.30 g/d, respectively. The level of plasma P of diet Ⅱ and Ⅴ groups was significantly higher than that of diet Ⅳ group (P<0.05). With the increase of dietary Ca and P levels, plasma CT level had a increasing tendency except the diet Ⅴ group (P<0.01). The level of plasma oestradiol (E_2) of diet Ⅳ and Ⅱ groups was significantly lower than that of the diet Ⅰ group (P<0.05), and that of diet Ⅲ group was significantly lower than that of diet Ⅰ and Ⅴ groups (P<0.05). The variation tendency of plasma estrone (E_1) level was consistent with E_2. In addition, increasing the dietary Ca and P levels could increased the level of plasma growth hormone (GH), and that in diet Ⅰ group was significantly lower than that of other groups except diet Ⅲ group (P<0.05). In summary, when the dietary Ca level between 36.00 to 48.00 g/d and P level between 26.30 to 34.30 g/d, increasing dietary Ca and P levels do not affect the nutrient digestion and metabolism of *Yili* mares during late pregnancy, but decrease plasma E_1 and E_2 levels, and increase GH level.

Key words: *Yili* mare; late pregnancy; calcium; phosphorus; digestion; metabolism; hormones

chinaXiv:201711.01384v1